

1 Centrifugación

La centrifugación consiste básicamente en una operación unitaria que envuelve la separación de sólidos de una suspensión o de dos líquidos inmiscibles por medio de la aplicación de la fuerza centrífuga.

Una centrífuga en la mayoría de los casos, consiste en un canasto que gira a alta velocidad. Las paredes pueden ser sólidas o perforadas. Sólidas para separar por medio de capas de discos; perforadas para separar como si fuese un filtro.

La fuerza centrífuga que actúa sobre una masa m que gira en un radio R y a una velocidad angular ω es:

$$F_c = m \cdot R \cdot \omega^2$$

en que:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}, \text{ Donde } n: \text{ rpm}$$

$$a_{\text{centrifuga}} = R\omega^2$$

La separación depende proporcionalmente de la diferencia de densidades. Si esta es muy pequeña la interface resultará difusa y la separación de los líquidos más compleja.

Debe existir por lo menos 3% de diferencia en las densidades; si se considera el anillo de líquido de espesor $R_2 - R_1$ la fuerza centrífuga que actúa sobre un elemento volumétrico de espesor dR , de masa dm y radio R será:

$$dF = R \cdot \omega^2 dm$$

Pero:

$$dm = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot \rho \cdot R dR$$

Donde ρ es la densidad del líquido y b es la altura de la capa de líquido en la centrífuga. Entonces:

$$dF = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot R^2 dR$$

Y la caída de presión para el elemento será dP

$$dP = \frac{\text{fuerza}}{\text{area}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot b \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot R^2 dR}{2 \cdot \pi \cdot b \cdot R} = \rho \cdot \omega^2 \cdot R dR = dP$$

La caída de presión en el anillo del líquido (R_2-R_1) es:

$$\Delta P_{(R_2-R_1)} = \omega^2 \cdot \rho \cdot \int_{R_1}^{R_2} R dR = \frac{\omega^2 \cdot \rho \cdot (R_2^2 - R_1^2)}{2}$$

Volviendo al sistema que se muestra en la figura 1 la caída de presión en las dos capas de líquido será:

$$\Delta P_{(R_i-R_A)} = \frac{\omega^2 \cdot \rho_A (R_i^2 - R_A^2)}{2}$$

y

$$\Delta P_{(R_i-R_B)} = \frac{\omega^2 \cdot \rho_B (R_i^2 - R_B^2)}{2}$$

Se está suponiendo que el radio interno del líquido corresponde en cada caso al radio de salida de cada líquido, de esta manera el radio de la zona neutra depende teóricamente del radio de salida de las dos fases y de las densidades de los dos líquidos.

En esta forma se puede controlar los radios de las capas A y B y asegurar una separación más completa del componente deseado; ejemplo: crema y leche, se aumenta capa B para asegurar que capa A quede prácticamente sin crema, lo mismo con aceite y agua, se aumenta capa A para asegurar que capa B (aceite) quede sin agua.

Es conveniente introducir la alimentación al equipo en un punto cercano a la zona neutra.

2 Clarificación

Este proceso se produce cuando un líquido con pequeñas partículas en suspensión es sometido a fuerza centrífuga en una máquina rotatoria.

La fracción que sale del líquido y la que permanece es controlada por la velocidad de alimentación; luego por el tiempo de paso por la centrífuga.

Si se considera una partícula sólida de diámetro D_p , la velocidad radial de la partícula en condiciones de flujo laminar es, según la ley de Stokes:

$$v_t = \frac{\omega^2 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot D_p^2 \cdot R}{18 \cdot \mu}$$

donde:

R : distancia de la partícula desde el eje de rotación

μ : viscosidad del líquido

$\rho_s - \rho_l$: diferencia de densidades

D_p : diámetro de la partícula

ω : velocidad angular

V_T : velocidad terminal de la partícula

Como el efecto gravitatorio puede ser despreciado la ecuación es válida.

El tiempo requerido por una partícula para recorrer una distancia dR será:

$$dT = \frac{dR}{v_t} = \frac{18 \cdot \mu}{\omega^2 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot D_p^2} \cdot \frac{dR}{R}$$

Suponiendo que el 50% de las partículas con diámetro D_{PC} puedan ser “clarificadas” en su paso por la centrífuga; la mayoría de las partículas con diámetro mayor que D_{PC} serán retiradas, mientras que la mayor parte de las partículas con diámetro menor que D_{PC} permanecerán en el líquido.

En este caso D_{PC} se define como el diámetro crítico o “punto de corte”.

Puede suponerse también que todas las partículas de diámetro D_{PC} que se encuentran en la mitad externa de la centrífuga serán separadas.

La distancia máxima que debe recorrer una partícula que se encuentra en esta zona será:

$$\left[R^2 - \sqrt{\frac{R_1^2 + R_2^2}{2}} \right]$$

Y el tiempo que una partícula de diámetro D_{PC} ocupa para recorrer esta distancia es:
 (integrando, entre límites)

$$t = \frac{18 \cdot \mu}{\omega^2 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot D_{PC}^2} \int_{\left(\frac{R_1^2 - R_2^2}{2}\right)^{\frac{1}{2}}}^{R_2} \frac{dR}{R}$$

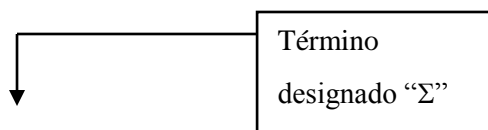
Integrando:

$$t = \frac{18 \cdot \mu \cdot \ln \left(\frac{R_2}{\left[\frac{(R_1^2 + R_2^2)}{2} \right]^{\frac{1}{2}}} \right)}{\omega^2 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot D_{PC}^2}$$

Y el tiempo mínimo de residencia de una partícula en el canasto de la centrífuga será igual a V/q , donde V : volumen de líquido contenido en el canasto y q : flujo volumétrico del líquido en el canasto. Así para que una partícula de diámetro D_{PC} sea separada se debe cumplir que:

$$\frac{V}{q} = \frac{18 \cdot \mu \cdot \ln \left(\frac{R_2}{\left[\frac{(R_1^2 + R_2^2)}{2} \right]^{\frac{1}{2}}} \right)}{\omega^2 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot D_{PC}^2}$$

Rescribiendo:



$$q = \left(\frac{(\rho_s - \rho_l) \cdot D_{pc}^2}{18 \cdot \mu} \right) \cdot \left[\omega^2 \cdot V / \ln \left(\frac{R_2}{\left[\frac{(R_1^2 + R_2^2)}{2} \right]^{\frac{1}{2}}} \right) \right]$$

Ecuación en la que lo encerrado en el paréntesis de corchete contiene solo características de la centrífuga para remover partículas de diámetro D_{PC} estas características sirven para comparar centrifugas de diferentes dimensiones y así poder escalar basado en trabajo experimental otras dimensiones de centrifugas. Esto es válido sólo para un mismo tipo de centrífuga; así, para una centrífuga de discos:

$$\Sigma = \frac{2 \cdot \pi \cdot \omega^2 \cdot (S - 1) \cdot (R_X^3 - R_Y^3)}{3 \cdot g \cdot \text{tg} \Omega}$$

Donde:

S: numero de discos del conjunto de platos

R_X, R_Y : Diámetro exterior e interior del conjunto de discos.

Ω : Angulo cónico medio de los discos.

Para centrifugas del mismo tipo pero de tamaño diferente la relación q/Σ debería ser la misma, por lo que se pueden escalar experiencias realizadas con centrifugas de ensayo.

3 Equipos

Es importante recordar que la fuerza centrífuga es proporcional al radio y la “fatiga” desarrollada en el canasto es proporcional al radio, luego la velocidad límite estará dada por esta última condición.

3.1 Centrifugas tubulares.

Sirven para separar líquidos, son cilindros estrechos, que rotan a alta velocidad en una caja estacionaria.

La separación se logra por un anillo o disco gravitatorio¹; el canasto está suspendido desde arriba.

Dimensiones: desde 10 a 30 cm de diámetro y hasta 1.50 m de alto.

¹ Los discos gravitatorios regulan la interfase, consisten en un disco o aro con diámetro externo fijo y diámetro interno regulable, al regular el diámetro interno se puede intervenir la interfase para recuperar solo el producto deseado (Sin embargo, es siempre necesario que exista una diferencia de densidades de alrededor del 3 a 4% para que ocurra la separación)

Revoluciones: de 15000 a 50000 (las más pequeñas)

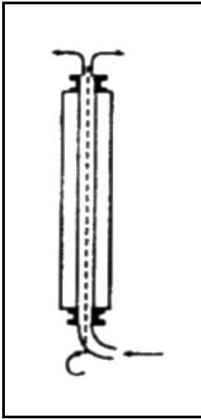


Figura 1: centrífuga tubular

3.2 Centrífugas de discos.

Sirven para líquidos y también como clarificadoras, se accionan por motores en el fondo o por transmisiones.

Dimensiones: 25 a 100 cm de diámetro.

Espacio discos: 0.5 a 1.0 mm

Velocidades: 3000 a 8000 rpm

Fuerza gravitatoria: 30cm diámetro, 6500 rpm =7000G

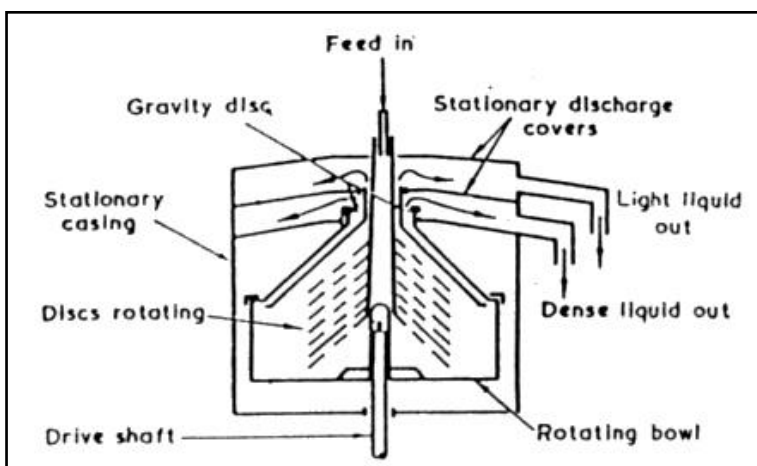


Figura 2: centrífuga de discos

3.3 Centrifugas clarificadoras.

Pueden usarse las de disco y las tubulares, pueden trabajar con sistema discontinuo o continuo (generalmente para centrifugas de disco), están provistas de válvulas automáticas que se abren programadamente por un intervalo de tiempo y con una secuencia predeterminada.

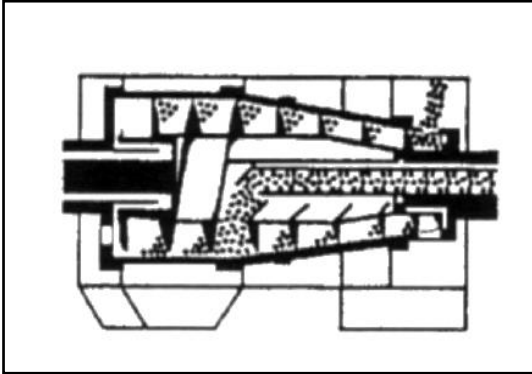


Figura 3: centrifuga desladora (decantadora); sirven hasta para un 50% de sólidos, la carcaza gira a app. 2rpm, no clarifican muy bien; pero entregan sólidos secos.

3.4 Centrifuga de multi-cámaras.

Se usa solo un sistema tipo “batch” (discontinuo), es apropiada para manejar alimentaciones con un 1% o menos de sólidos.

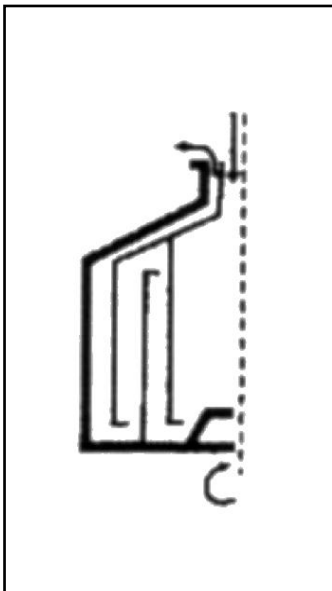


Figura 4: sección lateral de una centrifuga de multi-cámaras.

3.5 Centrifuga de auto-descarga.

En este caso el canasto es bi-cónico y el cono en su mayor diámetro está provisto de orificios de $\pm 1/8$ de pulgada de diámetro. Los sólidos se retiran en forma continua como una suspensión gruesa (lodo) pueden recibir alimentaciones de hasta 25% de sólidos.

3.6 Centrifugas de canasto (continuas y discontinuas)

Poseen un cilindro perforado concéntrico al canasto que deja un espacio anular entre ambos para recuperar el filtrado y también luego el o los líquidos de lavado.

La velocidad es variable y programable, siendo mayor durante la barga, aceleración y luego lenta y en sentido inverso para la descarga con un raspador especial de accionamiento neumático.

Mallas: tela, plástico, bronce, acero inoxidable.

Diámetros: 75-150 cm

Altura: 50-100

Velocidad: 1500-300 rpm en ciclos de 3 a 15 minutos.

Las centrifugas continuas suprimen el lavado de la torta separada, continuamente va ascendiendo por un canasto cónico de malla el producto que se quiere separar y luego este es recolectado en el fondo anular de la máquina

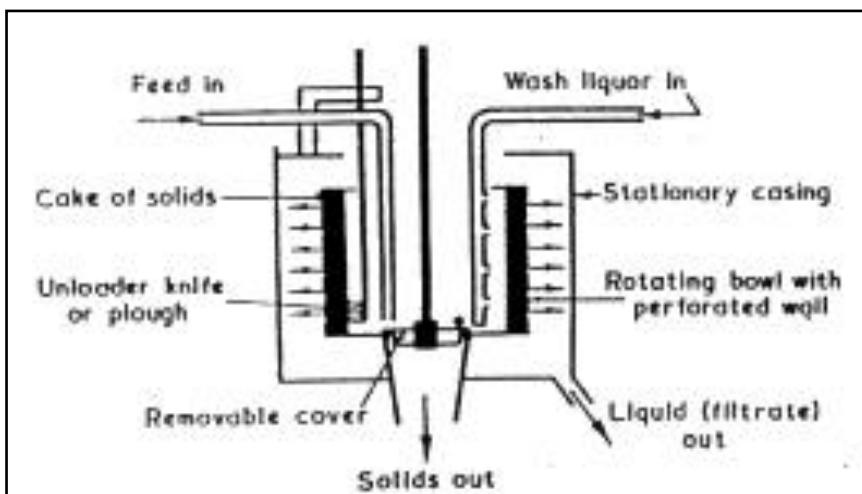


Figura 5: centrifuga de canastos.

3.7 Centrifugas continuas de empuje recíproco (de impulso)

Un embudo rotatorio alimenta el canasto de la centrifuga en el que se forma una capa de 2 a 8 cm de espesor, esta capa es movida hacia la salida del canasto por un “empujador” recíproco neumático, unos pocos centímetros por vez; en cada retorno el embudo alimentador entrega alimentación fresca al canasto.

Diámetro: 0.5-1.5 mt

Velocidad: 250-750 rpm

Largo canasto: 0.8-1.2 mt

3.8 Aplicaciones de los equipos de centrifugación en la industria alimentaria y bioquímica.

Centrifugas tubulares

- Para sacar el agua de mezclas de aceites vegetales, marinos y grasas animales.
- Para la clarificación de jugos de fruta y jarabes de azúcar.
- Para la rápida separación de la *penicilina ácida* en el solvente *acetato (metilo o butilo)* del filtrado del caldo.

Centrífuga de disco

- En la industria láctea para separar crema de la leche.
- En la refinación de aceites animales y vegetales, para retirar *mucílagos*, fosfolípidos, jabones para despigmentar, etc.
- En la clarificación de jugos de fruta, aceites de cítricos, vinos, etc.
- En la producción de alcohol combustible (mediante fermentación) para separar células que van a ser continuamente recirculadas y dar también una continua entrega de solución de alcohol.

Centrífuga decantadoras (deslodadoras)

- Para clarificación de cerveza, mosto vitícola.
- Eliminación del agua en el proceso de separación de almidón de trigo, maíz y arroz.

Centrifugas decantadoras

- Recuperación de proteína vegetal y animal.
- Separación de cocoa, café, etc.

Centrífugas filtrantes (de canasto)

- Para recuperar el agua cristalizada de la melaza cocida.
- Para recuperar proteína vegetal en concentración por congelación.

Centrífugas continuas

- Para recuperar azúcar cristalizada de la melaza cocida de baja calidad.
- Para separar las células floculadas en el proceso de obtención de “SCP” por el sistema “ICI Protein”